

MIKROPROCESSZOROS SPEKTRUMANALIZÁTOR BIOLÓGIAI JELEK FELDOLGOZÁSÁRA

Horváth Gábor

Budapesti Műszaki Egyetem Műszer és Méréstechnika Tanszék

A digitális integrált áramkörök gyors fejlődése, a mikroprocesszorok megjelenése lehetővé tette bonyolult jelfeldolgozó algoritmusok megvalósítására is képes, viszonylag olcsó műszerek, analizátorok kifejlesztését, széleskörű elterjedését. Egy sor olyan mérési, adatfeldolgozási eljárás rutinszerű alkalmazására nyílt lehetőség, mely módszerek ezt megelőzően csak komoly számítógépes háttérrel voltak megoldhatók.

Biológiai jelek - elsősorban EEG és EMG jelek - vizsgálata tulajdonságaikból, jellemzőikből adódóan összetett feladatokat igényel. Ezen feladatok rutinszerű elvégzését, az EEG és EMG jelek igényesebb analizálásának lehetőségét is a mikroprocesszorok alkalmazása teremtettem meg.

Jelanalízisnél a megfelelő vizsgálati módszer kiválasztása a vizsgálandó jelre felállított modell alapján dönthető el. Elektromiográfias jelek vizsgálatának számos lehetőségét dolgozták ki és alkalmazzák. A vizsgálati módszerek különböznek attól függően is, hogy egy külön álló motoros egység akciós potenciáljának analizise vagy sok ilyen motoros egység jelének szuperpozíciójaként előálló ún. interferenciás kép vizsgálata a cél.

Az akciós potenciál determinisztikus jelnek tekinthető, így a megfelelő vizsgálatok ezen jel alakjára, idő és amplitudó paramétereire, stb. vonatkoznak. Az interferenciás kép kvázistacionárius véletlen jelnek tekinthető, ezért vizsgálatánál a stacionárius sztochasztikus jelek analizálásának módszerei, elsősorban a teljesítménysűrűség spektrum vizsgálat és a korreláció analízis töltenek be fontos szerepet.

Az előadás egy elsősorban EMG jelek vizsgálatára alkalmas mikroprocesszoros spektrumanalizátor kialakításának szempontjait, az analizátor főbb jellemzőit mutatja be. A spektrumanalizátor részét képezi a BME Műszer és Méréstechnika Tanszéken a Medicor Művek részére jelenleg fejlesztés alatt lévő intelligens miográf analizátornak [1].

A spektrumanalizátor kialakításának lehetőségei

Stacionárius sztochasztikus folyamatok spektrumának kiszámítására alapvetően két lehetőségünk van. /A lineáris modellillesztésen alapuló módszerekkel jelenleg nem foglalkozunk./ A két módszer különböző definíción alapul, de aszimptotikusan azonos eredményt ad.

- Az autókorreláció függvényen alapuló ún. Blackman-Tukey módszer során előbb a folyamat autókorreláció függvényét becsüljük meg a mintaregisztrátum alapján, majd ennek Fourier transzformáltjaként kapjuk meg a spektrumot.

- A közvetlen Fourier transzformációs módszer alkalmazásakor előbb a folyamat mintaregisztrátumának Fourier transzformáltját határozzuk meg, majd ebből a következő összefüggés szerint kapjuk meg a spektrum becslését:

$$\hat{S}_N^L(k) = \frac{1}{L} \sum_{m=0}^{L-1} S_{N,m}(k) \quad (1)$$

A spektrum becslését tehát L periodogram átlagaként definiáljuk, ahol egy periodogram N mintavételi érték alapján a következő:

$$S_N(k) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-jnk2\pi/N} \right|^2 = \frac{1}{N} \left| X_N(k) \right|^2 \quad (2)$$

Mivel spektrumbecslésre mindkét módszer alkalmas, a gyakorlati megvalósításnál felmerülő problémák döntik el, hogy melyiket alkalmazzuk.

Digitális spektrumszámítást tekintve, a gyors Fourier transzformáció /FFT/ algoritmus kifejlesztése óta a közvetlen Fourier transzformációs módszer jelentősége megnőtt, lényegesen rövidebb idő alatt adja meg a spektrumot, mintha korreláció függvényen keresztül számítanánk.

A kiválasztott algoritmus realizálásakor további lehetőségek között kell dönteni. A lehetőségek közötti választást a számítással kapcsolatos igények befolyásolják. Az igények kétféle megközelítésben vizsgálhatók.

Méréstechnikai megközelítés esetén:

- vizsgálandó jelek osztályozása, frekvenciatartománya,
 - a spektrum igényelt felbontóképessége és dinamikája,
 - valamint az esetleges real-time feldolgozás igénye
- szab meg követelményeket a kialakítandó analízátorral szemben.

Számítástechnikai, illetve a realizálás oldaláról való megközelítés esetén:

- a feldolgozandó mintapontok száma,
 - a számábrázolási forma
 - és a számítási sebesség
- befolyásolja az analízátor felpitését.

A két követelményoldal természetesen összefügg. EMG analízisnél a vizsgálandó jelek sáv szélessége 1-2 kHz /interferenciás kép/, így a mintavételi frekvencia max. 5 kHz-re választható. A feldolgozandó mintapontok száma, a mintaregisztrátum hossza a spektrum felbontóképességét befolyásolja. A mintaregisztrátum hosszának megválasztásakor figyelembe kell venni azt is, hogy az EMG jel valójában nemstacionárius sztochasztikus jel, így a vizsgálat csak olyan rövid szakaszra végezhető, amely alatt a stacionaritás jó közelítéssel fennáll. Ha a megfigyelési intervallum T másodperc, akkor két szomszédos spektrumvonallal, melyek frekvenciái között a különbség kisebb $1/T$ Hz-nél, már nem különböztethető meg. Pl. 5 kHz-es mintavételi frekvenciát és 256 mintavételi értéket feltételezve, egy regisztrátum megfigyelési intervalluma 50 ms körülire adódik. Ez 20 Hz-es frekvencia felbontást jelent, amely az adott feladatnál még megfelelőnek tekinthető.

A mintavételi frekvencia és a szükséges mintapontok száma megadja, hogy mennyi idő áll rendelkezésre real-time transzformáció elvégzésére. Real-time analízisnél egy adatsor felvétele /256 pont/ alatt az előző adatok transzformációját el kell végezni, tehát az FFT számítására kb. 50 ms áll rendelkezésre.

A számítási időt nagymértékben befolyásolja az alkalmazott számformátum és a számítási műveletekkel szemben támasztott pontossági igény.

A számábrázolási formának és az aritmetika pontosságának megválasztása a spektrum dinamikájával van kapcsolatban. A számábrázolási forma /lebegőpontos vagy fixpontos/ a számítási időt valamint a kialakítandó analízátor felépítésének bonyolultságát jelentősen befolyásolja. Az egyszerűbb felépítés és a nagyobb műveleti sebesség érdekében a mikroprocesszoros megvalósításnál a fixpontos aritmetika és számábrázolás indokolt.

A véges szóhosszuságú számábrázolás miatt azonban kvantálási hiba lép fel. A kvantálás hatásának vizsgálatával jelenleg nem foglalkozunk, csupán megjegyezzük, hogy sztochasztikus jelek analizálásánál a bemenő adatok kvantálásánál a 8 bites pontosság elegendő, a belső számítások és a \sin/\cos együtthetők ábrázolásánál azonban nagyobb bitszám szükséges [2], [3].

Tervezési szempontok

A megoldandó feladathból nyilvánvaló, hogy a 8 bites fix utasítás-rendszerű mikroprocesszorok alkalmazásával a real-time feldolgozás követelménye nem teljesíthető. Még abban az esetben is, ha szorzó utasításokkal rendelkező mikroprocesszort használunk /pl. I 8088 vagy TMS 9980/, az FFT algoritmus software realizálása mintegy 2 sec-et vesz igénybe, ami több mint egy nagyságrenddel nagyobb, mint a rendelkezésre álló időszeglet.

A sebesség növelése vagy gyorsabb elemek használatával, vagy a számítások párhuzamosításával lehetséges. Bipoláris bitslice mikroprocesszorokat és gyors monolit szorzót alkalmazva a kívánt sebesség elérhető. Célunk azonban az volt, hogy a meglévő mikroprocesszoros rendszer - az MMT rendszer [4] - elemeit minél nagyobb mértékben felhasználva alakítsuk ki az analízátort.

A megoldandó feladatok a következők:

- mintavételezés,
- előfeldolgozás /simitás/,
- $X_N(k)$ meghatározása az FFT algoritmus felhasználásával,
- négyzetreemelés és átlagolás.

A mikroprocesszoros FFT számítás sebességének növelése elsősorban a szorzások idejének csökkentésével érhető el, de a feldolgozandó adatok címének kiszámítása is jelentős időt vesz igénybe. A cím meghatározás egyszerű hardware címtranszformáló egységgel jelentősen gyorsítható. Az FFT számítás különböző algoritmusai eltérőek a számítási sebességet /a szükséges szorzások számát/ és a számításnál jelentkező kerekítési hibákat tekintve. Mindkét szempontból kedvezőbb a Radix 4 algoritmus, bár megvalósítása bonyolultabb vezérlést igényel.

A real-time feldolgozás megköveteli, hogy egy periodogram számítása és egy következő adatrekord begyűjtése egyidejűleg, párhuzamosan történjék meg. Ezért két kétportos adattároló alkalmazása szükséges, melyek felváltva, mint bemeneti adattároló, illetve mint FFT közbeni adattároló működnek. A memóriák egyrészt közvetlenül a rendszer busz felől /adatgyűjtési fázis/, másrészt a címtranszformáló egységen keresztül /FFT számítási fázis/ címezhetők.

Az FFT számítás eredménye egy kimeneti tárolóba kerül. Ide az adatokat természetesen sorrendben írjuk be. A sorbarendezeit szintén speciális cimtranszformáló hardware egység végzi.

A feladatok megfelelő szétosztása az MMT rendszer multiprocesszoros kiterjesztését felhasználva lehetséges. A spektrumszámításra is alkalmas miográf analizátor olyan kétprocesszoros rendszer, amelynek két fő részét az MMT rendszer standard busz csatoló moduljai kötik össze. Az alapmodul feladata a spektrumszámítást tekintve az adatgyűjtés és előfeldolgozás, majd az FFT utáni négyzetreemelés és átlagolás. Az alapmodulhoz busz csatoló egységek kapcsolják az FFT processzort, amely részben szintén az MMT rendszer standard egységeiből épül fel.

Az FFT processzor fő részei:

- a központi egység modul /Z80 CPU/, amelynek feladata az FFT processzor többi részének vezérlése,
- a két különböző címzési lehetőséggel rendelkező adattároló egységek,
- a cimtranszformáló egységek, melyek a CPU által kiadott címet konvertálják; az egyik cimtranszformáló egység az FFT számítás során az előveendő adatok cimeit határozza meg, míg a másik a számítás végén a szükséges adatsorbarendezeit segíti,
- az aritmetikai egység, amely egy 4 alapu elemi lepkét számít ki; ez tartalmazza a ROM-bázisu szorzót és a sin/cos együtthatókat tároló fix memóriát is,
- kimeneteli tároló.

Az FFT processzor blokkvázlata az 1. ábrán látható.

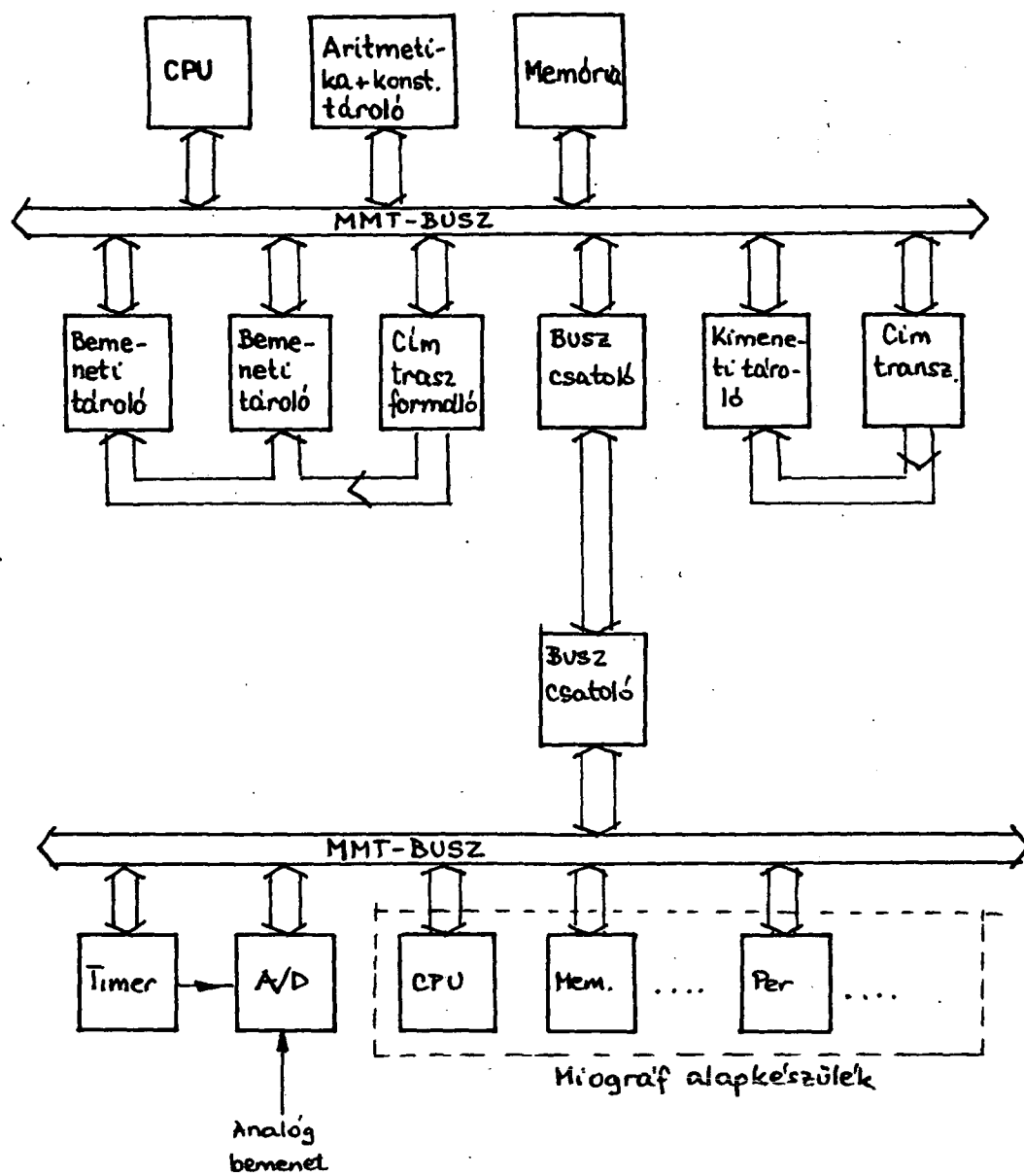
Összefoglalás

Az előadás EMG jelek analizisére szolgáló spektrumanalizátor egy lehetséges kialakítását mutatja be. Az analizátor az MMT mikroprocesszoros rendszer standard elemeinek felhasználásával 256 pontban max. 2,5 kHz felső határfrekvenciájú jelek közel real-time analizisére alkalmas. A megfelelő hardware egységek felhasználásával egy FFT számítási ciklus mintegy 150-200 msec-et vesz igénybe.

Az analizátor könnyen bővíthető nagyobb számú bemeneti adat feldolgozására. Négy standard FFT processzor egység, valamint egy kiegészítő modul alkalmazásával a pontok száma 1024-re növelhető. A kiegészítő modul az 1024 pontos FFT első szintjét számítja, így felépítése a standard modulokénál egyszerűbb.

Irodalom

- [1] Papp Z., dr. Sztipanovits J., Bán Gy., Sógör M.: Intelligens EMG analizátor. Számítástechnikai és kibernetikai módszerek ... Kollokvium, Szeged, 1982.
- [2] G. Horváth: A Multimicroprocessor System for Real-time Spectrum Estimation. Acta Imeko 1979.
- [3] T.H. Glisson, G.I. Black, A.P. Sage: The Digital Computation of Discrete Spectra Using The Fast Fourier Transform. IEEE Trans. on AU, vol. AU-18, pp. 271-287.
- [4] Horváth G., dr. Selényi E., Sztipanovits J.: Mikroprocesszoros rendszer ipari alkalmazásra. Finommechanika - Mikrotechnika 1982, 230-234 old.



1. ábra